O TARANIE WIERTNICZYM

NAPISAŁ

WACŁAW WOLSKI

INŻYNIER.

LWÓW
Z DRUKARNI „SŁOWA POLSKIEGO“
1902.

O TARANIE WIERTNICZYM

NAPISAŁ

WACŁAW WOLSKI

INŻYNIER.

LWÓW

Z DRUKARNI „SŁOWA POLSKIEGO“

1902.

O taranie wiertniczym

napisał

inż. Wacław Wolski.

Wiercenie hydrauliczne wogóle.

Przy wszystkich znanych dotychczas udarowych systemach wiertniczych świder otrzymuje swój ruch za pośrednictwem przewodu, na którym wisi. Przewód ten bądź to masywny bądź rurkowy upięty w górze u wahacza wykonuje wraz z nim i ze świdrem ruch udarowy do góry i na dół.

Zasada hydraulicznego wiercenia polega natomiast na przenoszeniu siły za pośrednictwem prądu wody, który pod wysokiem ciśnieniem przepływa od tłoczni przez rury aż na spód otworu i tam wprawia w ruch motor wodny; ten zaś porusza świder. Woda zużyta w motorze powraca w górę wywierconym otworem i służy równocześnie jako płóczka. Ruch obrotowy tudzież popuszczanie odbywa się za pomocą przewodu, na którym wisi motor ze świdrem.

Korzyści wypływające z tej nowej zasady są jasne: Jeżeli ogromna bo kilkutonowa masa przewodu rurkowego (która — zwłaszcza w głębszych cokolwiek szybach — wielokrotnie przewyższa masę świdra i obciążnika) nie bierze udziału w szybkim

ruchu tychże do góry i na dół ani w towarzyszących udarowi wstrząśnieniach, zyskuje się:

1) większe bezpieczeństwo ruchu, bo spokojnie wiszący przewód nie jest wcale narażony na utrącenia, jak wiadomo częste i nieraz groźne przy innych systemach wiertniczych.
2) poprawniejsze przeniesienie siły, z której wielka część traci się niepotrzebnie na targanie i wprawianie w ruch zmienny ogromnej masy przewodu.
3) zupełną niezależność ruchu od głębokości
4) możność dowolnego potęgowania pracy mechanicznej przenoszonej na spód otworu przez stopniowanie siły udarów i ich ilości, co przy dotychczasowych systemach udarowych — właśnie ze względu na poruszające się masy — napotyka niebawem na pewną nieprzekraczalną a praktycznemi względami zakreśloną granicę.
5) Płóczkę uzyskaną mimochodem przez odpływającą z motoru wodę.

Pierwsze praktyczne próby wprowadzenia wiercenia hydraulicznego sięgają 20 lat wstecz (Hoppe w Berlinie). Aparat był komplikowany i próby zawiodły,

W ostatnich dopiero latach podjęto nowe w tym kierunku usiłowania. P. Józef Howart w Borysławiu rozpoczął niedawno wiercenie próbne swoim systemem, inż. Władysław Pruszkowski w Schodnicy podał nadzwyczaj oryginalny projekt „syreny wodnej“, inż. B. Wiśniewski we Lwowie patentował aparat turbinowy, p. S. Janiszewski wystąpił ze swoim projektem. Do rzędu hydraulicznych aparatów wiertniczych należy też „taran wodny“ pomyślany i opatentowany przez niżej podpisanego.

Taran wiertniczy.

Główna trudność, jaką przedstawia użycie motoru wodnego do szybkich udarowych ruchów pochodzi z samej istoty cieczy przenoszącej siłę, ciężkiej i nieściśliwej. Każdej przerwie i zmianie w kierunku ruchu towarzyszy slabszy lub silniejszy udar wody zawartej w rurach i samymże aparacie a zjawisko to potęgujące się z szybkością ruchu ogranicza nietylko chyżość ale i ilość udarów dającą się w praktyce osiągnąć zwykłym mo-

torem hydraulicznym do 200, może 250 na minutę. Szybsze tempo (600, 1000 lub więcej na minutę) można otrzymać jedynie na zasadzie zużytkowania udaru wodnego, skoro usunąć go niepodobna.

„Taran wiertniczy" podobnie jak znany w hydraulice taran (baran) służący do pompowania wody, polega na rozpędzie i udarze słupa wodnego; udar zaś powstaje przez nagłe zatrzaśnięcie otwartego wpierw wentyla.

Fig. 1. Przedstawia szematycznie urządzenie aparatu. Woda wpływa pod ciśnieniem przez rurę dopływową *D* i banię powietrzną *B* do rury udarowej *U*. Na końcu tejże przewód się rozgałęzia. Z jednej strony wypływ zamknięty jest samodzielnym wentylem *W* podnoszonym t. j. otwieranym stale przez sprężynkę *f*, z drugiej strony tłoczkiem i zderzakiem sprężynowym *Z*, z trzeciej tłokiem *O*, który stanowi zarazem obciążnik dla ześrubowanego z nim świdra *S*. Silna sprężyna *F*, stara się stale podnosić obciążnik ze świdrem w górę.

Jeśli tłocząca pompa poszle w rurę prąd wody, znajdzie on początkowo swobodny wypływ przez otwarty wentyl *W*. Skoro jednak woda osiągnęła pewien stopień chyżości, wówczas wywiera ona z góry na wentyl tak wielkie ciśnienie, że przezwycięża opór sprężyny wentylowej *f* i rzuca nagle wentyl na siedzisko zamykając sobie wypływ. W tej chwili następuje udar wodny. Rozpędzony słup zawarty w rurze *U* uderza na tłok *O* i rzuca go wbrew oporowi sprężyny *F* z wielką siłą o dno otworu. Równocześnie zderzak *Z* odkształca się wskutek nagłego wzrostu ciśnienia. Po krótkiej chwili wszakże, gdy siła żywa uderzającego słupa wody wyczerpała się na wykonanie tej pracy, następuje reakcya. Zderzak prostując się odbija słup wody *U* wstecz znosząc w ten sposób na chwilę ciśnienie pompy względnie powietrza zawartego w bani *B*. Z chwili tej korzysta sprężyna wentylowa *f* aby oderwać wentyl od siedziska, przez co otwiera się dla wody wypływ. Słup *U* cofnięty chwilowo zaczyna się teraz znowu rozpędzać wskutek panującego w bani ciśnienia, podczas gdy świder z obciążnikiem po dokonanym udarze w spód otworu cofa się pod wpływem sprężyny *F*, póki go ponowny udar wodny nie zawróci.

Wszakże do prawidłowego działania aparatu zderzak *Z* okazuje się zupełnie zbytecznym, Rolę jego obejmuje spręży-

stość samej wody. W chwili udaru słup kurczy się pod wpływem własnego ciśnienia udarowego a następnie rozprężając się odskakuje od spodu wbrew ciśnieniu pompy wytwarzając w ten sposób chwiłowe rozrzedzenie potrzebne do ponownego otwarcia wentyla.

Aparat działa w ten sposób, że praca dostarczona przez pompę w formie ciśnienia zużytkowuje się najpierw na rozpędzenie słupa wodnego *U* a potem słup ten za pomocą sprężystego udaru przenosi swą energię na obciążnik ze świdrem.

Dla celów praktyki wiertniczej konstrukcya aparatu musiała naturalnie uledz odpowiednim zmianom (Fig. 2), Wypływ wody musiał być nie boczny ale centryczny, co osiągnięto w ten sposób, że wentyl otrzymał kształt pierścienia zamykającego wieniec otworów wierconych dookoła cylindra *C*. Płaszcz *P* prowadzi zużytą w aparacie wodę aż na sam spód otworu, tak, aby wypływając koło świdra biła w dno i utrzymywała je czystem od miału wiertniczego. W cylindrze *C* porusza się osobny tłok *K* połączony z obciążnikiem *O* za pomocą trzona *T*. Sprężyny *F* cofające obciążnik są narażone na ściskanie, nie na rozciąganie (jak w szematycznej Fig. 1). Łopata świdra *S* porusza się w szparze stalowego buta *R*, który przenosi obrót potrzebny do wiercenia z przewodu wprost na dłuto. Siła udaru daje się dowolnie regulować przez:

1) nastawienie wentyla;
2) długość rury udarowej.

Udar wodny.

W nrze 23 *Czasopisma technicznego* z roku 1900 rozwinąłem w głównych zarysach teoryę udaru wodnego. Powołując się na zawarte tamże wywody, podaję na tem miejscu jedynie zasadnicze wyniki obliczenia.

Woda jest, jak wiadomo, ciałem sprężystem, które pod ciśnieniem jednej atmosfery zmniejsza pierwotną swą objętość o $\frac{48}{1,000.000}$ czyli w przybliżeniu o jedną dwudziestotysięczną. Słup wody zawarty w sztywnej rurze przedstawia sprężysty szereg o masie jednostajnie rozłożonej. Jeśli taki słup poruszający się z chyżością *c* uderzy nagle o sztywną zaporę, powstanie pod

wpływem udaru zgęszczenie najpierw przednich jego części, potem coraz dalszych.

Wysokość ciśnienia udarowego A w atm. jest niezależną od długości słupa, a zależną jedynie od chyżości udaru.

$$1) \quad A = 14{\cdot}5\, c$$

Jeśli zapora nie jest stałą, ale ustępuje z chyżością v, natenczas ciśnienie udarowe będzie

$$2) \quad A = 14{\cdot}5\, (c - v)$$

Nacisk ten powstający u zapory przenosi się jako fala elastyczna na coraz dalsze części słupa wodnego a chyżość fali

$$3) \quad V = 1450\ m/sek$$

równa się chyżości głosu we wodzie.

Gdy fala elastyczna przebiegnie całą długość słupa, następuje na wolnym końcu tegoż odbicie fali w tem znaczeniu, że ciśnienie udarowe, które właśnie przeniosło się od zapory do drugiego końca słupa, przemienia się tu nagle w równoważną chyżość, odbicie końcowych cząstek, a przemiana ta udziela się coraz dalszym cząstkom od końca słupa ku zaporze. Odbita fala przebiega wstecz słup cały z tą samą chyżością V i znosi stopniowo przez interferencyę istniejące dotychczas ciśnienie. Gdy fala odwrotna dosięga zapory, całe udarowe ciśnienie, które istniało dotychczas w słupie wodnym, znikło już zamienione na chyżość. Słup odbity oddala się od zapory z tą samą chyżością, z jaką poprzednio w nią uderzył.

Nacisk na zaporę trwał tak długo, jak długo potrzebowała fala sprężysta, aby przebiedz całą długość L słupa i wrócić. A zatem udar wodny trwa:

$$4) \quad T = \frac{1}{725}\, L\ sek.$$

Przebieg zjawiska uwydatnia Fig. 3. Przedstawiano tu słup wody o długości $7{\cdot}25\ m$ w odstępach czasu $\frac{1}{1000}$ sekundy od chwili

pierwszego zderzenia ze stałą zaporą. Chyżość udaru przyjęto $c = 12$ *m./sek.* W górnym szeregu uwidoczniono graficznie według dołączonej skali ciśnienie panujące w słupie wodnym w każdej chwili udaru, a mianowicie po lewej stronie dodatnie ciśnienie, po prawej ujemne, czyli rozrzedzenie. W dolnym szeregu uwidoczniono (według drugiej skali) chyżości cząstek wody, po lewej stronie chyżości ku dołowi, po prawej chyżości ku górze.

Jak widać z diagramu, słup wodny po uderzeniu o stałą zaporę nie stracił nic ze swej siły żywej, zmienił jedynie kierunek ruchu.

$$5) \qquad \acute{c} = -c$$

Na zewnątrz nie oddał żadnej pracy. Inaczej, jeśli zapora ustępuje podczas udaru ze (stałą) chyżością v. Wtedy ciśnienie udarowe, jak powiedziano powyżej, wynosić będzie tylko $A = 14{\cdot}5\,(c - v)$, chyżość cząstek po odbiciu

$$6) \qquad \acute{c} = -c + 2v$$

Praca przenosząca się ze słupa wodnego na ustępującą zaporę będzie (jeśli przekrój słupa w cm^2 nazwiemy Q) w *mkg.* na *sek.*

$$7) \qquad P = 14{\cdot}5\,Q\,(c - v)\,v$$

Oddanie pracy będzie najwydatniejszem, gdy wyraz $(c - v)\,v$ osiągnie maximum, tj. gdy

$$8) \qquad v = {}^1/_2\,c$$

Wtedy chyżość odbicia będzie

$$9) \qquad \acute{c} = 0$$

Słup wodny po ukończonym okresie udaru staje w miejscu oddawszy całą swą siłę żywą ustępującej zaporze (np. tłokowi) jako pracę.

Przebieg zjawiska przedstawia graficznie Fig. 4.

W rzeczywistości, przy taranie wiertniczym, zapora ani nie jest stałą, ani nie ustępuje z jednostajną chyżością. Słup sprężysty

uderza tam o bezwładną masę świdra i obciążnika, która początkowo pędzi w górę pod wpływem sprężyny F (Fig. 1), a następnie uderzona z góry słupem wodnym zawraca i rozpędza się stopniowo ku dołowi.

Jaki przebieg będzie miał udar wodny w tych okolicznościach, przedstawię tu w krótkości.

Nazwijmy:

m masę bezwładną, o którą słup uderza,
v_0 początkową chyżość tej masy w pierwszej chwili zderzenia,
v zmienną chyżość masy podczas trwania udaru,
A „ ciśnienie udarowe w atm.
y „ wychylenie masy od miejsca w którem nastąpiło pierwsze zderzenie,
t czas (w sek.), jaki upłynął od chwili pierwszego zderzenia,
Q przekrój słupa wodnego i tłoka w cm^2.

Przyspieszenie masy ku dołowi będzie:

$$10)\qquad \frac{dv}{dt} = \frac{AQ}{m} = 14{\cdot}5\,\frac{Q}{m}\,(c - v)$$

z czego wynika v jako funkcya czasu t

$$11)\qquad v = c - (c - v_0)\,e^{-14{\cdot}5\,\frac{Q}{m}\,t}$$

Że zaś

$$12)\qquad v = \frac{dy}{dt}$$

więc powtórne całkowanie daje nam wychylenie y jako funkcyę czasu t

$$13)\qquad y = ct - 0{\cdot}069\,\frac{m}{Q}\,(c - v_0)\left(1 - e^{-14{\cdot}5\,\frac{Q}{m}\,t}\right)$$

Fig. 6 przedstawia obraz ruchu wynikający z równań powyższych. Przyjęto:

$$c = 12, \qquad v_0 = -6, \qquad Q = 10, \qquad m = 1.$$

Masa rozpędzona ku górze wskutek udaru wodnego wstrzymuje się stopniowo, osięga (po upływie czasu $t = 0{\cdot}00285$ *sek.*) najwyższy punkt H ($y = 0{\cdot}80$ *cm*), następnie zawraca ku dołowi, rozpędzając się coraz bardziej. Wszakże w miarę wzrostu chyżości v przyspieszenie maleje, a chyżość masy asymptotycznie zbliża się do pierwotnej chyżości udarowej c słupa wodnego, której nigdy przekroczyć nie będzie w stanie. Wyraża się to w diagramie ruchu (Fig. 6 I.) przez skośną asymptotę, w diagramie chyżości (Fig. 6 II) przez asymptotę poziomą pociągniętą w oddaleniu $v = c$.

Trzeci diagram (Fig. 6 III) przedstawia graficznie pracę oddaną przez słup wodny bezwładnej masie obciążnika

$$14) \qquad E = {}^1/_2\, m\, v^2$$

Siła żywa masy rośnie najpierw powoli, potem coraz szybciej w miarę rosnącej chyżości tłoka; wzrost jest najszybszy, gdy $v = {}^1/_2\, c$ (pkt W). W tem miejscu linia ma punkt zwrotny. Odtąd nachylenie jej maleje, siła żywa rośnie coraz wolniej, aby wreszcie asymptotycznie zbliżać się do pewnej górnej granicy odpowiadającej chyżości $v = c$ (asymptota).

Jeśli uderzający słup wody nie jest nieskończenie długim, ale kończy się w odległości L od zapory, natenczas przebieg zjawiska przedstawionego w Fig. 6 przerywa się z chwilą powrotu fali tj. po upływie czasu

$$t = \frac{L}{725}$$

W tej chwili udar się kończy, przyspieszenie ustaje. Panujący dotychczas nacisk zamienia się nagle w rozrzedzenie, pod którego wpływem wentyl otwiera się, pozwalając odbitemu słupowi wody rozpędzać się do ponownego udaru, podczas gdy świder po dokonanym udarze w spód, pod działaniem sprężyny, rozpędza się stopniowo ku górze do chyżości v_0, przy której trafia go nowy udar wody.

Fig. 5 przedstawia graficznie w odstępach $\frac{1}{1000}$ sek. rozkład ciśnień i rozrzedzeń (górny szereg) tudzież chyżości cząstek wody (dolny szereg) w pojedyńczych częściach słupa.

Długość słupa udarowego.

Jak widzieliśmy, długość rury udarowej stanowi o trwaniu udaru wodnego. Nie idzie tu naturalnie o długość całego przewodu wiertniczego, ale o odległość między aparatem a banią powietrzną. Bania ta bowiem stanowi miękkie, poddające się pod naciskiem miejsce, które przerywa jednostajnie sztywny słup uderzającej wody i w którem następuje odbicie fali podobnie jak w dziedzinie akustyki odbija się fala głosu u otwartego końca piszczałki.

Idzie tedy o wybór najstosowniejszej długości rury udarowej. Jeżeli rura ta będzie bardzo krótką, udar przerwie się tak wcześnie, że świder z obciążnikiem otrzyma bardzo niewiele z siły żywej zawartej w słupie wody. Przeciwnie bardzo długa rura przedłuży trwanie udaru tak dalece, że chyżość masy już zbliżać się zacznie (asymptotycznie) do chyżości słupa wodnego a przeniesienie siły żywej z wody na masę świdra przy końcu będzie już bardzo nieznacznem. I jeden i drugi wypadek należy nazwać niekorzystnym. Idzie bowiem o wybór takiej długości słupa, przy której jaknajwiększa część zawartej w uderzającym słupie energii przeniesie się przez udar na masę świdra.

Najłatwiej oznaczyć tę najkorzystniejszą długość słupa wykreślnie na diagramie pracy (Fig. 6 III). Ponieważ współrzędne oznaczają tam pracę oddaną masie a rzędne, jako przedstawiające czas trwania udaru, są proporcyonalne do długości słupa uderzającego a zatem i do zawartej w nim przed udarem energii, zatem udar powinien kończyć się w tym punkcie linii krzywej, w którym stosunek współrzędnej do rzędnej przyjmuje najwyższą wartość. Linia prosta pociągnięta z punktu O stycznie do krzywej przedstawia ten najkorzystniejszy stosunek a punkt styczny K wyznacza ową chwilę, w której udar powinien się kończyć. W danym przykładzie udar trwać powinien (jak widoczna z diagramu) około $\frac{14}{1.000}$ sekundy, co odpowiada długości słupa 10.2 *m.*

Że zaś słup wody 10.2 *m* długi o przekroju $Q = 10\ cm^2$ waży 10·2 *kg*, a masa $m = 1$ waży 10 *kg*, przeto dochodzimy do wniosku: że najkorzystniejsze przeniesienie energii ma wtedy miejsce, gdy masa uderzająca wody równa się uderzonej masie świdra i obciążnika.

Na tej podstawie należy wybierać długość udarowego słupa. Rozumie się, że nie idzie tu o zupełną dokładność i że już przybliżone zrównanie obu mas zapewnia najkorzystniejsze działanie aparatu. Nie posiada też praktycznego znaczenia okoliczność, że położenie punktu stycznego K (stanowiącego o najstosowniejszej długości słupa) zmienia się cokolwiek przy rozmaitych wartościach początkowej chyżości świdra v_0.

Dalej widać z diagramu (Fig. 6 III), że słup wodny oddaje przy najkorzystniejszych warunkach ruchu około $^2/_3$ początkowej swej energii obciążnikowi, resztę zaś zatrzymuje po udarze w formie bądźto chyżości bądź deformacyi cząstek (ob. Fig. 5). Energia ta pozostała w słupie wodnym obraca się w przeważnej części na odbicie tegoż słupa ku górze.

Zmiana przekroju.

Dotychczas przyjmowaliśmy powierzchnię tłoka jako równą przekrojowi słupa udarowego $= Q$. Zachodzi pytanie: O ile rzecz się zmieni, jeśli przekrój tłoka będzie odmienny np. $= Q_1$. Odpowiedź łatwa na podstawie następującego rozumowania:

Jeśli Q_1 będzie naprzykład $= 2\,Q$, natenczas każdoczesne ciśnienie udarowe działając na dwa razy większą powierzchnię tłoka wywoła dwakroć większą siłę i dwakroć wyższe przyspieszenie masy. Że zaś nadto każdemu ruchowi tłoka odpowiada dwa razy większy ruch wody na dolnym końcu rury udarowej, przeto przebieg udaru wodnego będzie taki, jak gdyby tłok miał powierzchnię $= Q$, ale był połączony z 4 razy mniejszą masą. Czyli ogólnie:

Jeśli zwiększymy powierzchnię tłoka n razy, ruch wody będzie taki, jak gdyby masa zmniejszyła się n^2 razy. W tym samym też stosunku krótszą należy zrobić rurę udarową, aby uzyskać najkorzystniejsze przeniesienie energii.

Przeciwnie, jeśli przy danej masie świdra i danym przekroju tłoka powiększymy przekrój słupa udarowego n razy, musimy równocześnie dać słupowi temu n razy większą długość. Wtedy masa słupa udarowego zwiększy się n^2 razy, siła żywa cząstek, stosownie do zmniejszonej chyżości, spadnie n^2 razy, ogólna suma

energii nagromadzonej w uderzającym słupie pozostanie ta sama. Różnica będzie ta, że udar wywrze na tłok n razy mniejsze ciśnienie, które wszakże n razy dłużej będzie trwało.

Nastawienie wentyla.

Drugim czynnikiem, za pomocą którego możemy dowolnie regulować siłę udaru, a w szczególności chyżość udarową słupa wodnego, jest: nastawienie wentyla. Nastawienie to zaś mamy w ręku przez 1) wybór miększej lub twardszej sprężyny wentylowej f, 2) nastawienie odpowiedniej odległości wentyla od gniazda (mierząc przy nieściśniętej sprężynie). Zobaczymy, jaki wpływ mają oba te momenta na siłę udaru wodnego.

Nazwijmy:

p powierzchnię wentyla w cm^2
o obwód wentyla w cm
x_0 początkowe podniesienie wentyla ponad gniazdo przy nieobciążonej sprężynie
x zmienne podniesienie wentyla przy ściskanej stopniowo sprężynie
y nacisk wody na wentyl
z opór sprężyny przeciwdziałający naciskowi wody
w (zmienną) ilość wody przepływającej w danej chwili w l/sek
a (zmienne) ciśnienie wody panujące nad wentylem w atm
u (zmienną) chyżość wody przepływającej przez otwarty wentyl.

Nacisk, jaki woda wywiera z góry na płytę wentylową, pochodzi stąd, że wentyl ten stanowi miejscowe zwężenie przekroju, który w pełnym słupie wynosił $Q\ cm^2$, tutaj zaś tylko

$$15)\qquad q = o\,x\ cm^2$$

Że zaś ta sama ilość wody w musi przepłynąć tym zwężonym przekrojem, przeto chyżość przepływu wzmaga się tu i wynosi:

$$16)\qquad u = 10\,\frac{w}{ox}$$

Aby udzielić wodzie podobnej chyżości, potrzebnym jest

nadmiar ciśnienia z góry wynoszący (według znanych zasad hydrodynamiki w atmosferach *)

$$17) \quad a = \frac{1}{10} \frac{u^2}{2g} = \frac{1}{2} \frac{w^2}{o^2} \frac{1}{x^2}$$

Siła, z jaką woda przepływająca przez wentyl stara się zbliżyć płytę do gniazda

$$18) \quad y = \frac{1}{2} \frac{p}{o^2} w^2 \frac{1}{x^2}$$

Równanie to wyraża związek zachodzący między odległością x a naciskiem wody y i przedstawia się graficznie (Fig. 7) jako szereg linii krzywych M, z których każda odpowiada innej ilości wody ($w = 10\,l, 15\,l, 20\,l$ *etc.*).

Naciskowi wody przeciwdziała sprężyna wentylowa f, której opór z jest proporcyonalnym odkształceniu, przedstawia się zatem w diagramie jako prosta, skośna linia N. Przy pierwotnem oddaleniu wentyla ($x = x_0$) sprężyna nie wywiera żadnego nacisku. W miarę ściskania jej do coraz mniejszych wartości x, opór z rośnie, a stosunek zachodzący między oporem a deformacyą

$$19) \quad \frac{z}{x_0 - x} = tg\, a$$

daje miarę sztywności użytej sprężyny.

Jeśli przy danej wartości x nacisk wody równa się oporowi sprężyny

$$z = y$$

(przecięcie linii M i N) panuje równowaga. Ta może być stałą albo niestałą w miarę tego, czy w danem położeniu x opór sprężyny szybciej rośnie, czy nacisk wody, a zatem czy w punkcie przecięcia nachylenie a prostej linii N jest silniejszem, czy nachy-

*) Popełniam tu świadomie błąd pomijając chyżość, jaką posiada woda przed wentylem, błąd bardzo zresztą nieznaczny, albowiem przekrój pełnego słupa Q jest w rzeczywistości bardzo wielkim w porównaniu do przekroju wentylowego q.

lenie krzywej M. W pierwszym wypadku (pkt A) równowaga jest stałą, wentyl utrzymuje się wbrew naciskowi wody w odległości x od gniazda; w drugim wypadku (pkt C) napór wody rośnie tak szybko, że przy najmniejszem przekroczeniu położenia $x = x_3$ przeważa i zatrzaskuje nagle wentyl.

Przejście między jedną kategoryą równowagi a drugą stanowi punkt styczny B, którego rzędna x_2 (jak łatwo dowieść z równania obu linii) jest równą dla wszystkich linii M

$$20) \quad x_2 = \frac{2}{3} x_0$$

Przebieg zjawiska będzie zatem następujący:

W miarę rozpędzania się słupa udarowego i rosnącej wartości w, wentyl będzie się stopniowo obniżał deformując sprężynę coraz bardziej (pkty A). Gdy jednak odkształcenie to dojdzie do $^2/_3$ pierwotnej odległości x_0 (pkt B), wentyl zatrzaskuje się nagle wywołując udar wodny.

Siła udaru będzie zależała od chyżości c_2, jaką rozpędzający się słup wody osiągnął w chwili zatrzasku

$$21) \quad c_2 = 10 \frac{W_2}{Q}$$

zaś ilość wody W_2 przepływająca właśnie w tej chwili jest określoną przez tę krzywą M, która jest styczną do linii N danej sprężyny.

Na tej podstawie nie trudno już stwierdzić, jaki wpływ na siłę udaru mają dwa czynniki stanowiące o nastawieniu wentyla mianowicie sztywność użytej sprężyny i oddalenie początkowe płyty wentylowej od gniazda.

Ponieważ przy danej wartości x_0 przekrój przepływu bezpośrednio przed zatrzaskiem będzie jeden i ten sam

$$22) \quad q_2 = \frac{2}{3} o \, x_0$$

przeto większa albo mniejsza sztywność użytej sprężyny uwydatni się jedynie potrzebą większego lub mniejszego ciśnienia a koniecznego,

aby zgnieść ją o $^1/_3\, x_0$. Że zaś z jednej strony chyźość przepływu rośnie z drugim pierwiastkiem ciśnienia, z drugiej strony siła żywa udaru rośnie z kwadratem chyżości, więc siła udaru stoi w prostym stosunku do sztywności użytej sprężyny.

Natomiast przy danej sprężynie odległość początkowa x_0 płyty wentylowej od gniazda stanowi w stosunku trzeciej potęgi o sile udaru, albowiem razem z nią rośnie (w stosunku prostym) przekrój wentyla

$$q_2 = \frac{2}{3}\, o\, x_0$$

poprzedzający zatrzask a równocześnie chyżość przepływu (w stosunku pierwiastka). Ilość wody w_2 zatem i chyżość udarowa c_2 rośnie w potędze $\frac{3}{2}$, siła żywa w potędze trzeciej.

Ilość wody i ciśnienie.

Potrzebna do ruchu ilość wody jest znacznie mniejszą od tej ilości w_2, która poprzedza każde zamknięcie wentyla. To jest bowiem chyżość maksymalna, podczas gdy chodzi tu o chyżość przeciętną, biorąc na uwagę okres rozpędu słupa i częściowe odbicie tegoż po dokonanym udarze.

Gdyby słup wodny oddawał całą swoją energię obciążnikowi a sam po każdym udarze stawał w miejscu, ilość wody zużytej równałaby się prawie dokładnie połowie udarowej ilości w_2, rozpęd bowiem od chyżości początkowej $= 0$ do chyżości końcowej $= c_2$ daje przeciętną chyżość $= {}^1/_2\, c_2$. Że jednak, jak widzieliśmy powyżej, przeniesienie energii ze słupa na tłok odbywa się mniejwięcej tylko w $^2/_3$ częściach, reszta zaś idzie na odbicie słupa, przeto i przeciętna ilość wody zużytej będzie około

$$23)\qquad W = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2}\, w_2 = \frac{1}{3}\, w_2$$

Wynika stąd pewna właściwość aparatu. Przed rozpoczęciem ruchu można posłać przez niego bardzo wielką (niemal potrójną od normalnej) ilość wody, która przepłynie swobodnie, prawie bez

ciśnienia, przez otwarty wentyl nie wiercąc, ale płócząc jedynie spód otworu, co jak wiadomo, jest często potrzebnem przy płóczkowych systemach wiertniczych.

Aby przejść do czynności wiercenia, wystarczy spotęgować na chwilę ilość wody tak, aby dosięgła udarowej ilości w_2. Wtedy wentyl zaczyna działać, ciśnienie rośnie a ilość wody zużytej spada na jedną trzecią.

Ilość wody, jaką przyrząd zużywa, zależy jedynie od nastawienia wentyla a więc od siły pojedyńczych udarów, jest zaś niezależną od ich ilości. Natomiast tempo ruchu, ilość udarów na sekundę, zależy od ciśnienia wytworzonego przez pompę. Iloczyn z ciśnienia i przeciętnej ilości wody stanowi o wykonanej przez pompę a zużytkowanej przez aparat wiertniczy pracy mechanicznej

24) $$P_{\text{mkg}} = 10\ W_{\text{l/sek}}\ A_{\text{atm}}$$

Straty.

Utrata pracy mechanicznej, dostarczonej przez pompę, może mieć trojaką przyczynę:

1. Nieszczelność;
2. Opory wody w przewodach;
3. Tarcie tłoka w cylindrze.

Nieszczelność samego przewodu daje się łatwo stwierdzić i usunąć przez staranne skręcanie rurek. Dobrze wykonane stożkowe gwinta smarowane łojem albo mazią pogazową dają absolutną niemal szczelność. W każdym razie wszelkie stąd pochodzące straty będą bardzo nieznaczne, a miarą ich będzie stosunek wody uchodzącej przez nieszczelne miejsca do całkowitej ilości wody tłoczonej przez pompę.

Znacznie donioślejsze znaczenie ma wszelka nieszczelność istniejąca poniżej słupa udarowego, więc przedewszystkiem w samym aparacie. Ciśnienia udarowe bowiem, które tu występują, wynoszą już nie kilkanaście atm. jak w przewodzie, ale 100—300 atm. Wobec tak ogromnych a nadto zmieniających się kilka lub kilkanaście razy na sekundę ciśnień trwałe uszczelnienie staje się trudniejszem, a każda nieszczelność pociąga za

sobą nietylko wielką utratę energii, ale daje się zaraz odczuć w samym ruchu przyrządu, psując poprawne odbicie wody niezbędne do ponownego otwarcia wentyla. Porównałbym to do odbicia np. sprężystej laski, która odskakuje od bruku kamiennego a nie odskakuje od miękkiej ziemi, w której grzęźnie. Rachunek uczy, że nieszczelność, której przekrój wynosi 2 do 3 setnych przekroju Q wystarcza, aby całą siłę żywą wody zawartą w uderzającym słupie obrócić na nieproduktywną pracę przepychania wody przez ten ciasny przekrój. O odbiciu w tych warunkach niema naturalnie mowy a przyrząd staje na zamkniętym wentylu.

Na szczęście zabezpieczenie dwóch miejsc aparatu, w których mogłaby powstać nieszczelność: mianowicie wentyla i tłoka, nie ulega żadnej trudności przy zastosowaniu odpowiednich materyałów i nadaniu im odpowiednich kształtów. Tłok z umieszczonym należycie manszetem skórzanym daje absolutną, tłok długi, zaszlifowany, z rowkami zupełnie wystarczającą szczelność. Najstosowniejszym wentylem okazała się cienka (4 *mm)* blaszka stalowa o sprężynowym harcie.

Opór tarcia wody w przewodzie zależy w stosunku prostym od długości przewodu, w stosunku kwadratowym od tłoczonej ilości wody, a w stosunku piątej potęgi od średnicy rury przewodowej.

$$25)\qquad O_{\mathrm{atm}} = 2{\cdot}1\ L\ \frac{W^2}{d^5}$$

Wynika stąd, iż należy dawać przewód o ile możności obszerny. Przyjmując $W = 6\ l/_{\mathrm{sek}}$ a $d = 7\ cm$ będziemy mieli stratę ciśnienia $O = 0{\cdot}45\ atm$ na bieżące 100 m przewodu, czyli (pracując np. ciśnieniem 18 atm) stratę wynoszącą 2·5% dostarczonej przez pompę pracy.

Opór wody powstaje też w rurze udarowej i zwężonym przekroju wentyla a mianowicie opór zmienny odpowiednio do zmiennej chyżości rozpędu. Przy ocenianiu ogólnej straty należy wziąć w rachubę opór przeciętny. Ponieważ przydłużenie rury udarowej wpływa w stosunku prostym na tarcie, zwężenie jej zaś w stosunku piątej potęgi, przeto zalecać się tu będzie raczej rura długa a obszerna, niż wąska a krótka (ob. powyżej ustęp o związku między przekrojem rury udarowej a jej długością).

Jasną też rzeczą, że przy nastawianiu wentyla lepiej jest, ze względu na straty, wzmacniać siłę udaru raczej wyższem podniesieniem wentyla, niż zastosowaniem twardszej sprężyny.

W praktyce używając przekrojów 10 do 40 cm^2 ($d = 36 - 70\ mm$), szacuję na podstawie przybliżonych pomiarów sumę strat pochodzących z oporu wody na 15 do 35% całej pracy dostarczonej przez pompę.

Wreszcie należy uwzględnić tarcie tłoka w cylindrze. Przy użyciu manszeta skórzanego będzie ono wcale znacznem, bo nacisk udarowy kilkuset atmosfer przyciska z ogromną siłą skórę do ścian cylindra. Sądzę, że nie pójdę za wysoko szacując opór ten na 10% całej pracy udarowej. Znacznie korzystniej przedstawia się pod tym względem tłok długi, doszlifowany do cylindra i zaopatrzony rowkami poprzecznemi. Tarcie będzie tu znikomem. Tłok podobny wszakże wymaga wody wolnej od piasku.

Siła potrzebna przy każdym udarze do deformacyi sprężyny *F* (Fig. 2) nie jest straconą. Sprężyna bowiem rozprężając się rozpędza obciążnik ku górze a tłok oddaje przy udarze tę siłę żywą słupowi wodnemu, który zużytkowuje ją przeważnie na odbicie. Że zaś wymiana energii ma miejsce między ciałami sprężystemi, przeto nic albo prawie nic z tej energii się nie traci.

Ogólna suma wszystkich oporów będzie tedy wynosiła 25% do 45% pracy dostarczonej przez pompę tak, że 55% — 75% przenosi się użytecznie na dno otworu *).

W każdym razie przeniesienie podobne siły jest znacznie korzystniejszem, niż przeniesienie przy tych systemach wiertniczych, przy których ciężka masa przewodu wykonuje razem ze świdrem ruch zmienny do góry i na dół.

Wiercenie skał.

Oprócz wierceń głębokich, zasada tarana hydraulicznego daje się z równą korzyścią zastosować do maszyn wiercących płytkie (1—2 metrowe) otwory celem zakładania min wybuchowych. W tym celu konstrukcya musi uledz kilku nieznacznym zmianom, w szcze-

*) Zwykły taran hydrauliczny do dźwigania wody pracuje (według doświadczeń Eytelwein'a) z dzielnością 70 do 90%.

gólności obrót świdra musi odbywać się automatycznie. Także bania powietrzna otrzyma kształt odmienny.

W górnictwie i przy budowie tunelów maszyny wiertnicze coraz ogólniej wchodzą w użycie zastępując wolniejszą i kosztowniejszą pracę ręczną. Dzielą się one na obrotowe i udarowe, a do popędu ich służy: para (rzadko), zgęszczone powietrze, elektryczność i woda. Ta ostatnia, ograniczoną była dotychczas na motory obrotowe, działające wolno, wymagające ogromnego nacisku ostrza, a więc silnego zmontowania, ciężkie i kosztowne. (Systemy Brandt, Jarolimek). Wszelkie próby zastosowania wody do aparatów udarowych zawiodły właśnie z powodu szkodliwego działania udarów wodnych w zwykłym motorze hydraulicznym przy szybkim zmiennym ruchu. A jednak ze wszystkich sił, służących do poruszania maszyn wiertniczych, woda wydaje się najodpowiedniejszą. Nie wymaga ona kosztownych urządzeń centralnych (kompresorów, elektrowni). W górnictwie zawsze jest pod ręką woda o wysokiem ciśnieniu, wystarczy odprowadzić ją z głównej rury tłoczącej wodę wgłębną. Także przy budowie tunelów są zwykle w pobliżu wysoko położone źródła, potoki lub naturalne zbiorniki wody, z których można sprowadzić rurami wodę pod ciśnieniem własnem kilkunastu lub kilkudziesięciu atmosfer, a zatem zdolną wprost do popędu taranowych przyrządów. Woda odpływająca z aparatu służy zarazem do płóczki otworów wiertniczych, o którą przy zastosowaniu elektryki lub powietrza osobno trzeba się starać.

Przeniesienie pracy jest tu bez porównania poprawniejszem. Według obliczeń Dolezalek'a („Tunelbau“) pędzone powietrzem maszyny wiertnicze obracają na pracę użyteczną nie więcej jak 7—22% (!) pracy zużytej w kompresorach, nie licząc strat tarcia i nieszczelności w przewodzie. Taran wodny pracuje z 3—4 razy wyższym efektem.

Wreszcie jako korzyść tarana w porównaniu z innemi systemami maszyn wiertniczych podnieść należy bardzo prostą budowę przyrządu, lekkość (przy równej sile 2—3 razy mniejszy ciężar) i odpowiednio niskie koszta wykonania.

Fig. 1.

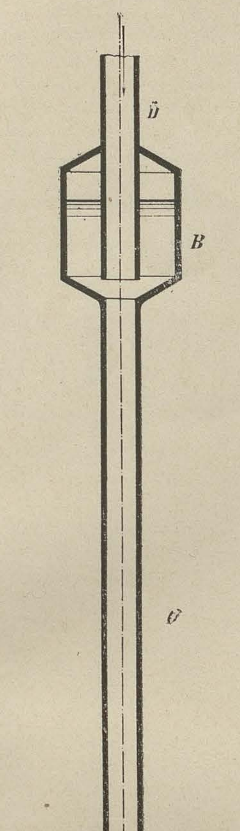
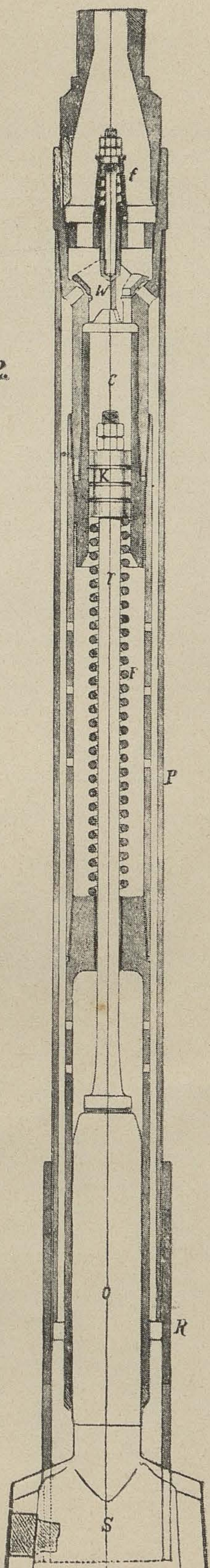


Fig. 2.



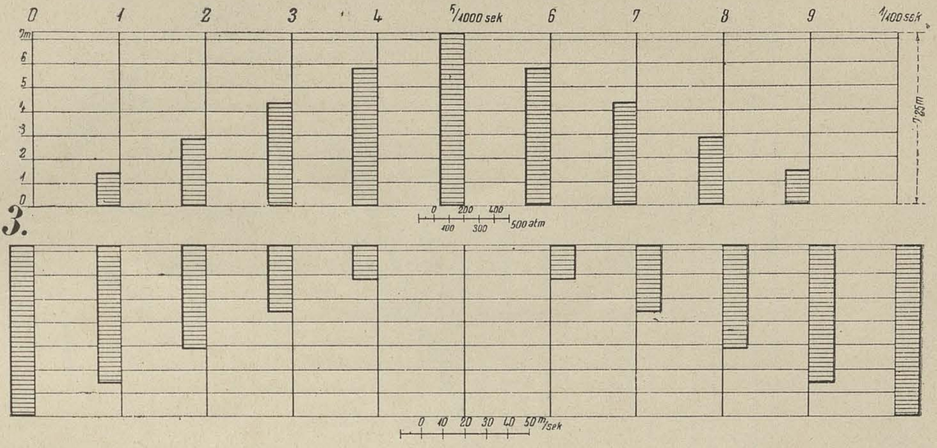


Fig. 3.

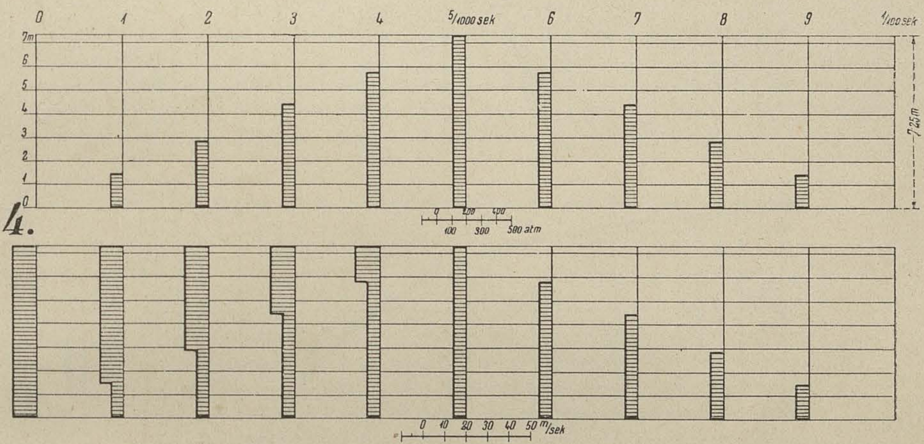


Fig. 4.

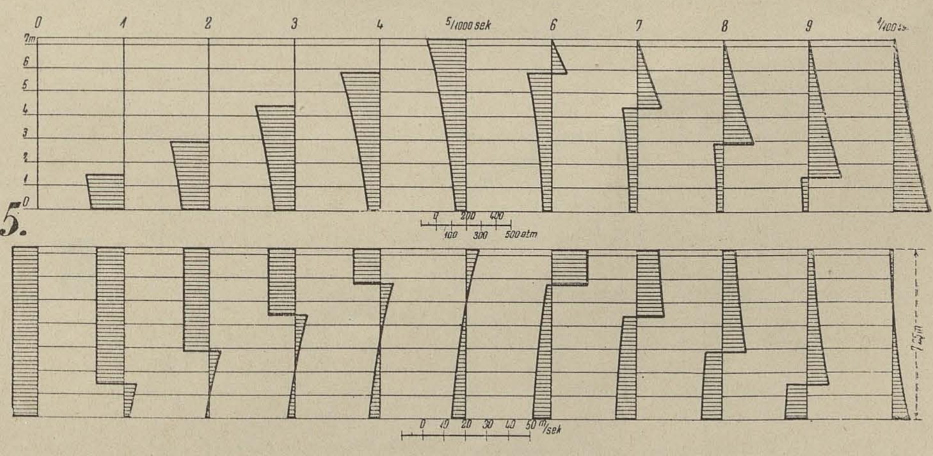
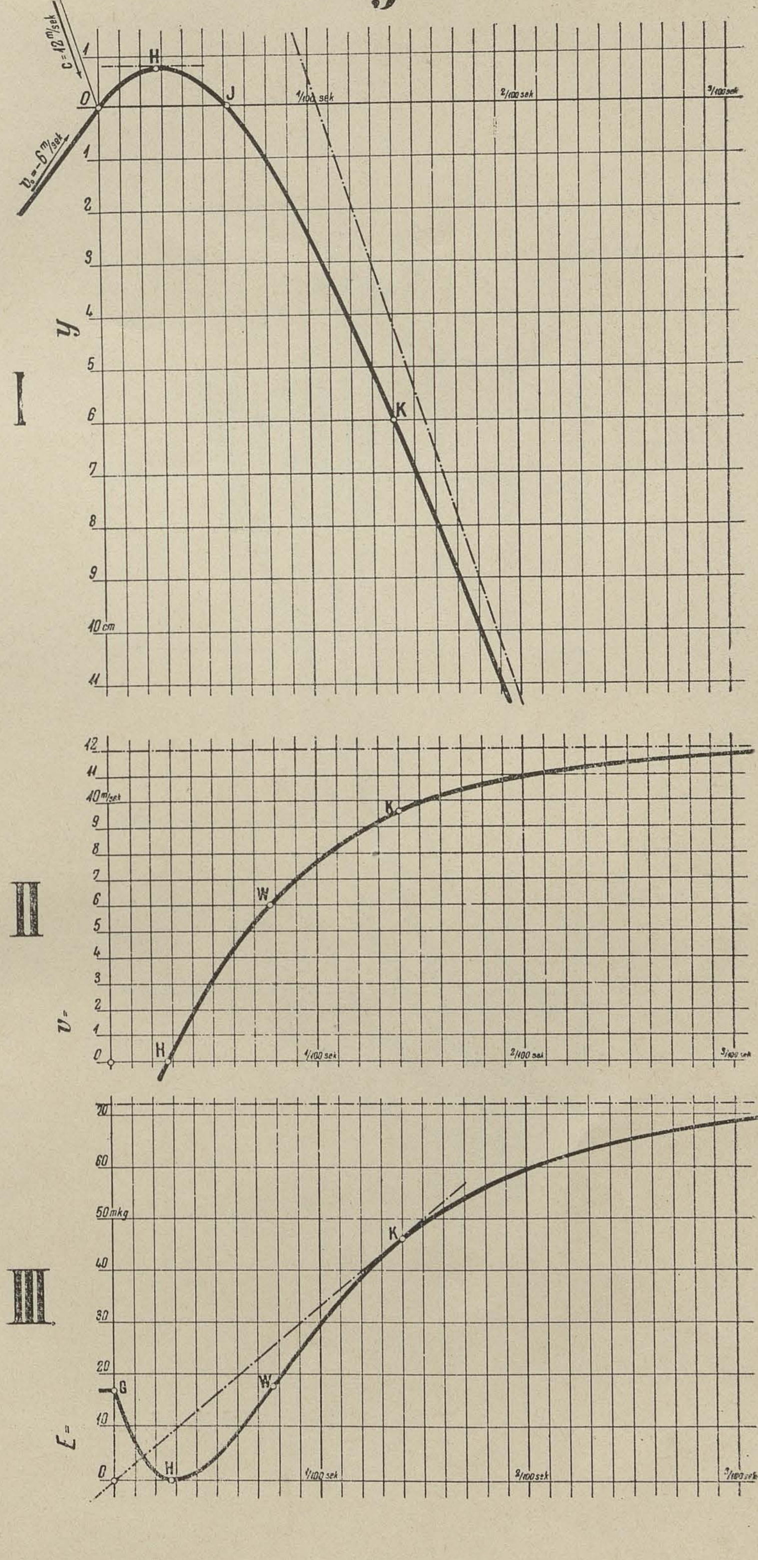


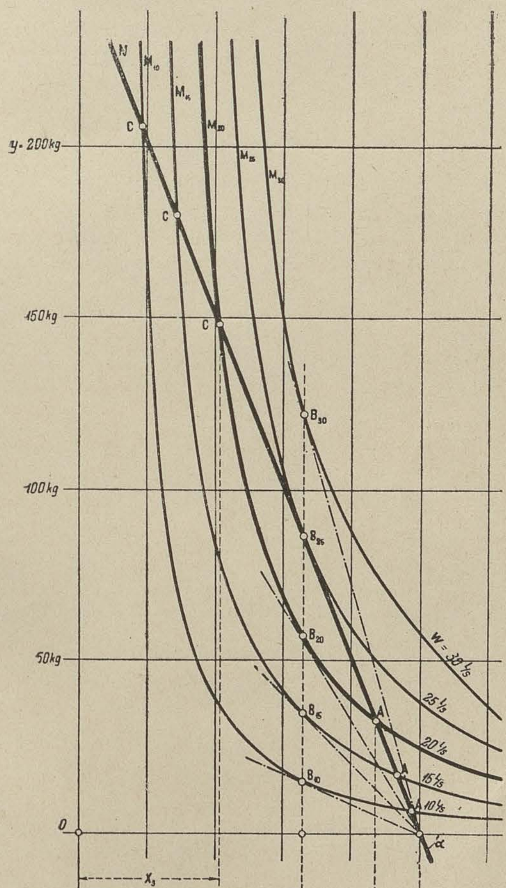
Fig. 5.

Fig. 6.



c = 12 m/sek
v₀ = -6 m/sek
H
J
K
0
1/100 sek
2/100 sek
3/100 sek
y
40 cm
I
II
III
W
G
40 m/sek
v=
50 mkg
E=

Fig. 7.


y = 200kg
150kg
100kg
50kg
0
N
C
B30
B25
B20
B15
B10
A
W = 30 l/s
25 l/s
20 l/s
15 l/s
10 l/s
X3
X2
X1
X0

28

Z DRUKARNI SŁOWA POLSKIEGO WE LWOWIE
POD ZARZĄDEM JÓZEFA ZIEMBIŃSKIEGO.